

Tidiga tillväxteffekter av kvävetillförsel på SeedPAD och plantor

*Early growth development after nitrogen fertilization of SeedPADs
and plants*



Foto: Elin Kollberg

Elin Kollberg



Examensarbeten

2016:5

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Tidiga tillväxteffekter av kvävetillförsel på SeedPAD och plantor

*Early growth development after nitrogen fertilization of SeedPADs
and plants*

Elin Kollberg

Keywords / Nyckelord:

SeedPAD, fröplantor, kvävegödsling, tidig tillväxt / *SeedPAD, seedlings, fertilization, early growth development*

ISSN 1654-1898

Umeå 2016

Sveriges Lantbruksuniversitet / *Swedish University of Agricultural Sciences*

Fakulteten för skogsvetenskap / *Faculty of Forest Sciences*

Jägmästarprogrammet / *Master of Science in Forestry*

Examensarbete i skogshushållning / *Master degree thesis in Forest management*

EX0770, 30 hp, avancerad nivå A2E / *advanced level A2E*

Handledare / *Supervisor*: Torgny Näsholm

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

Bitr handledare / *Assistant supervisor*: Mattias Holmlund

SLU, Inst för skoglig genetik o växtfysiologi / *SLU, Dept of Forest Genetics and Plant Physiology*

Extern handledare / *External supervisor*: Jonas Öhlund, SweTree Technologies AB

Examinator / *Examiner*: Göran Hallsby

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handletts och granskats av handledaren, och godkänts av examiner. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc/BSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

Förord

Detta examensarbete har genomförts vid Institutionen för Skogens Ekologi och Skötsel, SLU i samarbete med SweTree Technologies AB.

Jag vill tacka min handledare Torgny Näsholm vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel för all hjälp och feedback under arbetets gång. Ett stort tack till mina externa handledare Jonas Öhlund vid SweTree Technologies och Mattias Holmlund vid institutionen för Skoglig Genetik och Växtfysiologi, SLU för material, assistans och värdefull rådgivning av försökets utformning. Jag vill också tacka Anders Muzsta, SLU för statistisk rådgivning.

Ett särskilt stort och varmt tack till min familj som visat sitt stöd under hela min utbildning men framförallt under detta sista år. Tack till mina fantastiska vänner.

Elin Kollberg
Umeå 2016

Sammanfattning

I boreala skogar begränsas trädens tillväxt av olika ståndortsfaktorer och främst är det temperatur, tillgång till solljus, vatten och mineralnäring som utgör hinder. Makronäringsämnet kväve är det mineralnäringsämne som till stor del begränsar tillväxten i nordliga barrskogar. Etablering av den nya föryngringen är som mest känslig de tio första åren och ju större plantan blir desto bättre blir chanserna till överlevnad. Sådd som föryngringsmetod kantas av stor fröåtgång och osäkra föryngringsresultat vilket resulterat i utvecklandet av SweTree Technologies SeedPAD koncept. Konceptet består i användandet av ett förädlat plantagefrö inkapslat i en påse med ett hygroskopiskt material i syfte att öka plantbildningen och därmed minska frömängden, öka etableringsandelen och möjliggöra en förädlingsvinst.

I denna studie utfördes tre försök i syfte att utröna om tillförsel av olika kväveformer påverkar den tidiga tillväxten. Två försök utfördes i fält med SeedPAD och ettåriga täckrotsplantor och ett försök i växthus med enbart SeedPAD. Totalt testades sex olika behandlingsalternativ i fält och tre i växthusförsöket. I växthuset testades även tre olika nivåer per behandlingsalternativ. Mätningar utfördes efter fyra månader med avseende på etablering, tillväxt samt kväveinnehåll.

Överlevnaden var mycket god oavsett behandling i fält. Av alla behandlingsalternativ för SeedPAD var det endast ett alternativ som gav signifikanta tillväxtskillnader i både fält- och växthusförsöket. För SeedPAD i fält uppmättes en dubblering i tillväxt vid jämförelse med de gödslade substraten och i växthuset en femfaldig ökning. För täckrotsplantorna uppmättes i genomsnitt 30 procents tillväxtökning för de gödslade plantorna. De var behandlade med ett kvävealternativ som inte gav någon tillväxtökning för SeedPAD. Procentuell rottillväxt skiljde sig inte signifikant åt mellan gödslade och ogödslade substrat. Resultaten i denna studie visar att det finns stor potential till förbättrad tillväxt under första växtsäsongen vid sådd med SeedPAD och planterade plantor. Betydelsen av tillförd kvävekälla, kombination och nivå är dock stor för att effekt skall visas under första växtsäsongen.

Abstract

Tree growth in boreal forests is limited by various site factors. Temperature, available sunlight, water and mineral nutrition are critical factors when establishing a new generation of seedlings. In these forest ecosystems, nitrogen is the factor most often restricting growth. The first ten years are the most sensitive ones when regenerating with sowing. About half of the established seedlings year one will have died at year ten. Bigger plants have greater chances of survival and successfully establish a new regeneration. Sowing as regeneration method is known for its doubtful establishment results, resulting in the development of SweTree Technologies SeedPAD concept. The concept consists of a refined seed in a package with a hygroscopic material promoting survival establishment and hence enabling reduction of the number of seeds per hectare. This would then enable use of high-value seed sources.

Three different experiments were made in order to determine whether different nitrogen sources affect the early growth. Two field experiments was performed with SeedPAD and one-year-old seedlings. The third experiment was performed on SeedPAD in a greenhouse. Six different nitrogen combinations were tested in the field experiments and three combinations in the greenhouse experiment. Different levels of nitrogen fertilization were also tested in the greenhouse experiment. After four months' measurements were performed regarding establishment, growth and nitrogen supply.

The survival of SeedPAD seedlings was very good regardless of treatment in the field experiment. All experiments showed clear significant growing differences depending on the specific nitrogen treatment. Of all combinations for SeedPAD only one treatment showed significant difference. In the field experiments with SeedPAD a doubling of growth was measured for one nitrogen treatment in comparison with the untreated SeedPADs and in the greenhouse experiment the growth was five times as high as for untreated seedlings. For the one-year-old seedlings, an average of 30 % increase in growth for the fertilized seedlings were found. The results from this study indicates there is a great potential to improve the early growth of seedlings within the first growing season. The importance of nitrogen source, combination and level is great in order to show effect during the first season.

Inledning

Föryngring efter avverkning är en av de mest kostsamma skogsskötselåtgärderna en skogsägare utför under en omloppstid och kan vara avgörande för lönsamheten i skogsbruket (Rosvall *et al.* 2007). En misslyckad föryngring kan få kostnaderna att skena iväg och därför är det viktigt att föryngringen blir lyckad på första försöket. Senast tio år efter föryngring med sådd skall tillfredställande plantuppslag finnas och fem år efter plantering, enligt skogsvårdslagen 6 §.

Fröplantor och plantor begränsas i sin tillväxt av olika ståndortsfaktorer. Temperatursumma, tillgång till vatten, solljus och mineralnäring är viktiga element för hög tillväxt (Winsa 1995, Wennström *et al.* 2007, Erefur 2010). Främst är det makronäringsämnet kväve som är tillväxtbegränsande i nordliga barrskogar (Ellström 2013, Ståhl & Berg 2013). Bara en liten del av kvävet i marken är tillgängligt för plantan vilket beror på hur kvävet är bundet i marken (Hawkins 2011). De tio första åren efter en föryngring med sådd är som mest kritisk och den största plantavgången sker under denna tid. Endast ungefär hälften av de såddplantor som etablerats under första växtsäsongen finns kvar efter tio år (Bergsten & Sahlen 2013). Uppfrysning är ett stort hot för små plantor (Goulet 1995). I norra Sverige är risken som störst under senhöst och tidig vår då snötäcket är som tunnast (Bergsten *et al.* 2001). Ju större plantan blir desto mindre blir denna risk (Goulet 1993, Bergsten & Sahlen 2013).

Såddplantans tillväxt är långsam i början och skjuter egentligen inte iväg ordentligt förrän efter tredje levnadsåret (Bergsten & Sahlen, 2013. Wennström 2014). I en undersökning av Bergsten *et al.* (2001) noterades den maximala uppfrysningen av groddplantor i genomsnitt till 4,4 cm. Höjden hos plantorna bedöms dock vara ett otillräckligt mått på tillväxten (Erefur 2010). Plantans diameter anses däremot vara en mycket bra indikator på plantans förmåga att överleva eftersom den hänger ihop med rotsystemets storlek. Med en grövre diameter, desto större rotsystem vilket i sig ger bättre motståndskraft mot torka och hetta (Grossnickle 2011). Utvecklingen av plantans rotsystemet är av stor betydelse för möjligt näringsupptag (Erefur 2010). När plantan utvecklar sitt rotsystem utvecklas även en symbios med mykorrhizasvampar, vilket ökar utnyttjningsbar markvolym och därmed källa för potentiellt kväveupptag. Mykorrhiza har stor betydelse för plantor och trädets näringsupptag och fungerar som ett förlängt rotsystem (Näsholm *et al.* 2013, Ellström 2014). Tidigare studier har visat att gödsling av små plantor kan leda till otillräcklig rottillväxt (Albough *et al.* 1998. Johnsen *et al.* 2005.). Vid tillgång till kväve i närheten behöver plantan inte utveckla sina rötter i försök att hitta näring. Symbiosen med mykorrhiza kan även försämrats vid kvävegödsling (Hawkins 2011). Lämpliga nivåer av kväveinnehåll hos barrplantor är mellan 1,5-2,2 % (Hawkins 2011, Cregg 2005). Nivåer under detta kan medföra hämrad tillväxt.

Skogsträdsförädling är en viktig komponent i strävan efter att öka virkesproduktionen (Rosvall *et al.* 2010). Vid sådd används vanligen beståndsfrö insamlat i vanliga produktionsskogar (Wennström *et al.* 2008). Ökad kunskap om samspelet mellan frö och ståndort har bidragit till större intresse för att använda sådd som föryngringsmetod, i förhoppning att minska föryngringskostnaderna (Oleskog 1999, Lundström 2015). Den stora mängd frö som går åt (60-80 000 frön/ha) medför höga frökostnader som gör det svårmotiverat att använda förädlat material (plantagefrö) och man mister därmed en förädlingsvinst beräknad till mellan 10 och 20 % beroende på bonitet och vart fröet är hämtat från (Rosvall *et al.* 2010). Plantagefrö framställs i första hand

för produktion av plantor i plantskolor och har i allmänhet högre mognadsgrad och vitalitet än bestandsfrö och ger därför vid sådd en högre plantbildning, överlevnad och planttillväxt (Wennström *et al.* 2001 & 2007). Att använda sig av plantagefrö vid sådd kan därmed öka tillväxten och göra att gallringar kommer tidigare och omloppstiden kortas.

Försök med sådd i paket har utvecklats genom åren i syfte att minska fröåtgången och möjliggöra användandet av förädlade material. På 1970 talet utvecklades Hasselforsplantan och senare kom Landpuck i samarbete med Svea Skog AB. Landpuck utvecklas fortfarande och består av en torvpuck och ett förädlat frö som skall ner några cm i mineraljorden för bästa etablering. Företaget SweTree Technologies AB (www.swetree.com) har tillsammans med Svea Skog AB utvecklat ett såddpaket under namnet SeedPAD. SeedPAD-paketet skall vara enkelt att hantera med ett papper som är hållbart i torrt tillstånd men snabbt luckras upp vid markkontakt. SeedPAD innehåller ett hygroskopiskt material som sväller vid nederbörd och läggs direkt på den markberedda ytan. På så vis förbättras fröets tillgång till kapillärt vatten och gör groningen mer oberoende av yttre väderförhållanden. Användandet av förädlade plantagefrö med rätt proveniens möjliggör även en förädlingsvinst. Tanken är att erbjuda en föröngningsmetod som är säkrare och inte lika känslig för yttre faktorer som traditionell sådd. SweTree Technologies och Svea Skogs försök med denna typ av sådd har visat sig framgångsrik vid en jämförelse med vanlig maskinell sådd när det kommer till plantbildning (Öhlund, Muntlig). SweTree Technologies har tidigare utfört mindre försök med SeedPAD som fått tillsats av kväve. Försöken visade att en tillsats av både 5 och 20 mg N gav högre total tillväxt i jämförelse med det ogödslade substratet. Tidigare studier av Erefur (2010) och Bylund (2015) har dock visat att kväve inte alltid är en begränsande faktor vid tidig tillväxt. Avgörande faktorer är även ljusstillgång och andra ämnen som till exempel fosfor.

Tre försök utfördes där mineralnäring tillfördes i form av olika kvävekällor för att undersöka om förutsättningarna för frö och planta att gro och växa kan ökas. Två försök utfördes i fält med SeedPAD och ettåriga täckrotsplantor och ett försök i växthus med enbart SeedPAD. Totalt testades sex olika mineralnäringskombinationer i fält och tre i växthusförsöket. I växthuset testades även tre olika nivåer per näringskombination. Syftet med denna studie var att undersöka om kväve har betydelse för etablering och tillväxt den första växtsäsongen vid sådd med SeedPAD och ettåriga plantor samt att utröna om skillnader i tidig tillväxt uppstår vid användning av olika typer av kvävekällor i SeedPAD. Målsättningen var att ta fram ett kunskapsunderlag för eventuell lämplig tillförsel av mineralnäring för tillförsel till frön och plantor. Huvudfrågeställningar var:

1. Begränsas fröplantors tillväxt av tillgång på kväve?
2. Begränsas planterade plantors tillväxt av tillgången på kväve?
3. Spelar kväveformen någon roll för fröplantors groningen och tillväxt?
4. Kan kväve tillföras till frön utan att frögroning, plantbildning och tillväxt påverkas negativt?

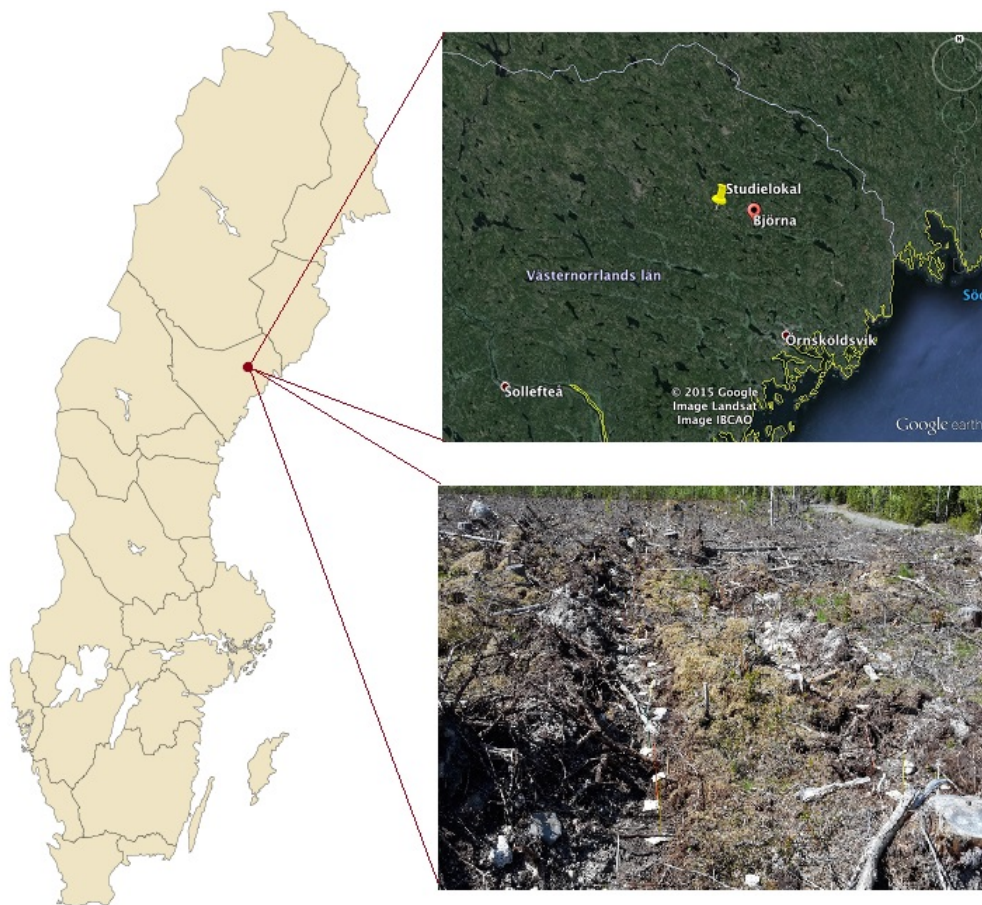
Material och Metoder

Projektet bestod av tre försök:

1. SeedPAD i fält
2. Plantor i fält
3. SeedPAD i växthus

Fältförsöken

En trakt utanför Björna i Västernorrlands län valdes ut som studielokal för fältförsöket. Avdelningen tillhör Holmen Skog och var markberedd med harvning år 2014. På figur 1 syns studielokalens placering i Sverige och Västernorrlands län. Fältförsöket lades ut under första veckan i juni 2015 och avlästes fyra månader senare, den sista veckan i september 2015.

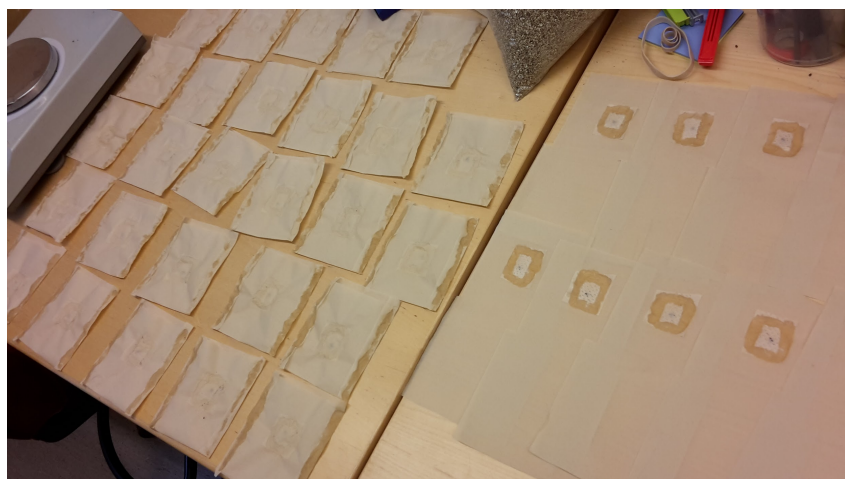


Figur 1. Studielokalens ungefärliga placering i Västernorrlands län, Björna kommun, Sverige. Foto: Wikimedia, Google Earth, Elin Kollberg

Figure 1. The location of the area of study.

Sex olika behandlingsalternativ tillverkades inför fältutläggningen. Kvävekällorna samt de nivåer som användes diskuterades fram och framställdes i laboratorium. Påsarna tillverkades av specialtillverkat papper som luckras upp i och med att påsen utsätts för väta så att fröet kan gro upp ur påsen. Alla påsar fick ett plantagefrö från samma proveniens anpassade för regionen. Själva fröet lades i en ficka gjord av ett extra håligt papper på insidan av påsen så att det alltid låg i mitten

men ändå fick tillgång till innehållet (Figur 2). Alla påsar fylldes sedan med 20 g hygroskopiskt material som är det material som skall svälla och hålla fukt när påsen läggs på marken. Sedan fylldes de enligt de olika behandlingarna enligt tabell 1 innan utlägg.



Figur 2. Tillverkning av SeedPAD i laboratorium innan de fylldes med olika behandlingar.
Figure 2. Manufacturing of SeedPAD before they were filled with different treatments,

Tabell 1. Behandlingsalternativ samt kvävegiva, SeedPAD i fält

Table 1. Treatments and nitrogen dose for SeedPAD

Kod	Behandling	Giva N
A	Obehandlad	0 mg
B	B och X	30 mg
C	A och X	20 mg
D	B och X	20 mg
E	B	10 mg
F	O	20 mg

Försöket lades ut som ett randomiserat blockförsök i fem block som motsvarades av markberedda rader (Figur 3). I varje block testades alla sex behandlingar nio gånger. Fröpåsarna lades direkt på den blottade mineraljorden enligt ett specifikt schema (Figur 5). Totalt såddes 54 SeedPAD per rad och 270 totalt. 100 st ettåriga täckrotsplantor hämtades från Holmen Skogs plantskola i Gideå varav hälften gavs 40 mg av kvävekälla X i samband med plantering (Figur 4). Plantorna planterades i harvfåran med varannan gödslad, varannan ogödslad tills 100 stycken var planterade.

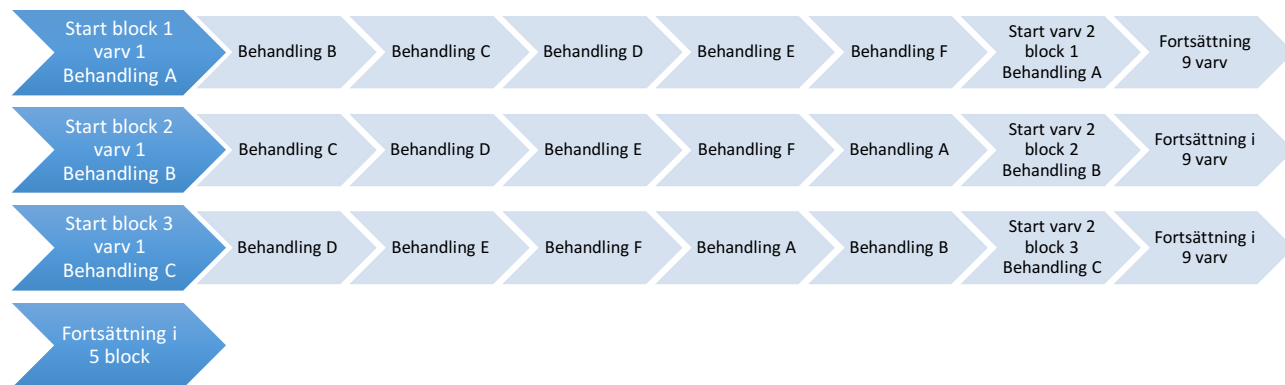


Figur 3 Utlägg av SeedPAD i fält.

Figure 3. Outlay of SeedPAD in the field

Figur 4. Täckrotsplanta gödslades med kvävekälla X i samband med plantering.

Figure 4. Seedling fertilized with nitrogen X when planted



Figur 5. Schematiskt utlägg av SeedPAD i fält.

Figure 5. Schematic outlay of SeedPAD in the field.

Efter en växtsäsong på 4 månader gjordes fältavläsning och ungefär hälften av försöket plockades in för analys (mätning av längd, diameter, barrlängd och vikt) samt analys av kväveinnehåll. Innan avläsningen startade noterades överlevnadsprocenten för samtliga sådda SeedPAD (Figur 6).

Därefter grävdes vartannat varv upp med hjälp av en mindre spade (Figur 8) oavsett om de innehöll ett grott frö eller inte. På samma sätt grävdes även de ettåriga plantorna upp (Figur 7).



Figur 6. Groddplantor behandlade med olika gödselkällor vid fältavläsning fyra månader efter sådd.
Figure 6. Seedlings treated with different fertilizers, four months after sowing.



Figur 7. Täckrotsplantor med (grön) och utan (gul) behandling vid fältavläsning fyra månader efter plantering.
Figure 7. Seedlings with (green) and without (yellow) treatment, four months after planting.



Figur 8. Uppgrävning av SeedPAD i fält
Figure 8. Excavation of SeedPAD in the field experiment

Växthusförsöket

Färdigtillverkade SeedPAD i likadant papper och frön med samma fröproveniens som i fältförsöket användes i växthusförsöket. Användandet av färdigtillverkade SeedPAD innebar att påsen och det hygroskopiska materialet var mer komprimerad än i fältförsöket samt att tillsättandet av kvävet blev mer koncentrerad i närheten av fröet. Detta för att efterlikna den senast tilltänkta versionen av SeedPAD. De olika behandlingsalternativen i tabell 2 valdes baserat på de preliminära resultaten i fältförsöket.

Tabell 2. Behandlingsalternativ, kvävegiva samt antal, växthusförsök med SeedPAD

Table 2. Treatment alternatives, nitrogen dose and quantity, the greenhouse experiment with SeedPAD

Behandling	Giva N mg	Antal
A	5	15
	10	15
	20	15
B	5	15
	10	15
	20	15
F	5	15
	10	15
	20	15
Obehandlad	0	15

Försöket lades ut i lådor fyllda med sand. Mängd av varje kvävekälla beräknades och vägdes upp i laboratoriet. I växthuset tillsattes kvävet i färdigtillverkade SeedPAD och märktes upp (Figur 9). Efter ca 2 veckor avlästes groningsprocent och uppföljning av groningshastighet noterades två gånger per vecka (Figur 10, 11). Eventuell avgång noterades även. Efter ytterligare ca 3 månader avlästes överlevnadsprocent och försöket plockades in för analys likt den för fältförsöken (Figur 12).

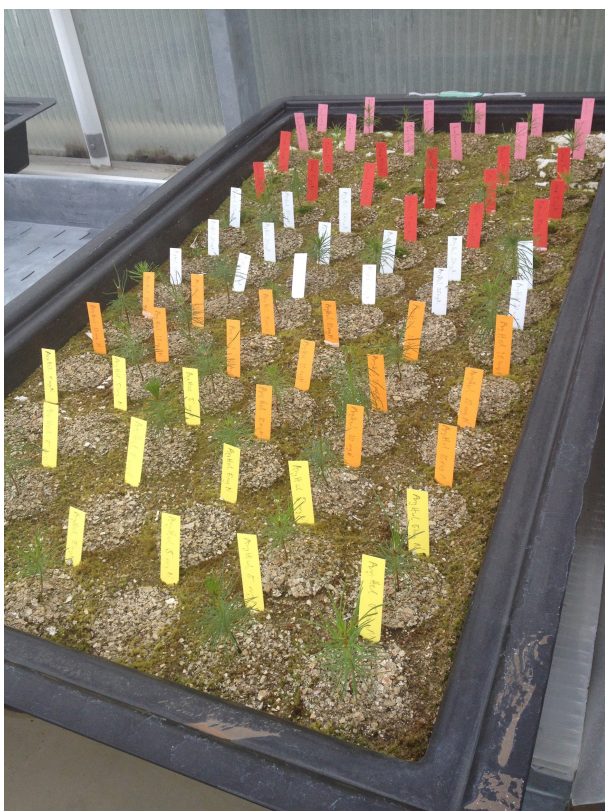


Figur 9. Tillsättning av kvävegiva till SeedPAD i växthusförsöket

Figure 9. Adding of nitrogen to SeedPAD in the greenhouse experiment



Figur 10. Tillväxt av fröplantor i växthuset vid ett avläsningstillfälle
Figure 10. Growing of seedlings in the greenhouse experiment



Figur 11. En del av växthuset försöket fem månader efter sådd.

Figure 11. Part of the greenhouse experiment five months after sowing.



Figur 12. Fröplantor i växthuset försöket efter en tillväxtperiod på fem månader.
Figure 12. Seedlings from the greenhouse experiment five months after sowing.

Analys

Det insamlade plantmaterialet i samtliga försök mättes i färskt tillstånd med avseende på längd, diameter och barrlängd med hjälp av digital mätsticka. Längden mättes från första lateralrot till knopp. Diameter mättes genom korsklavning. Barrlängd bestämdes genom att mäta ett subjektivt bedömt representativt barrpar vid knopp. Totalt från fältförsöket blev det 108 stycken groddar från SeedPAD och 43 stycken ettåriga täckrotsplantor. Skottet separerades från rotdelen vid första lateralrot, märktes och lades i ett torkskåp i ca två dygn. Därefter vägdes rotdelen och skottet för sig innan de lämnades in för vidare analys av kvävehalt. SeedPAD från växthusförsöket vägdes i färskt tillstånd och totalt mättes 85 fröplantor in.

Statistiska analyser utfördes med hjälp av programvaran Minitab 17. För fältförsöken analyserades datat med hjälp av variansanalysen ANOVA General Linear Model för randomiserade blockförsök för att testa inverkan av behandling och block. Växthusförsöket analyserades med envägs ANOVA för att testa om det var någon skillnad mellan behandlingarna, båda med signifikansnivån $\alpha = 0,05$. Tukey Studentized test Pairwise comparison med konfidensintervallet 95 % ($p < 0,05$) användes som signifikanstest mellan behandlingsalternativen i de modeller där signifikans visades. Förklarandegraden (R Square) visar hur bra modellen beskriver givet data med ett värde mellan 0 och 1. Standardavvikelse (St Dev) är ett mått på genomsnittliga avvikelsen från medelvärdet. P-värdet visar på vilken nivå resultaten är signifikant mot hypotesen. Antaganden för testen är normalfördelning, oberoende observationer och konstant varians i residualerna vilket även granskades innan analyserna i grafer med så kallade residual plots.

Resultat

Fältförsöken

Av 264 inventerade SeedPADs hade totalt 232 grott vilket gav en etableringsprocent på 89 % för hela försöket (Tabell 3). Det var ingen signifikant skillnad i plantbildning mellan gödslingsalternativen eller blocken ($p=0,75$). Försöket med SeedPAD visade att det fanns signifikanta skillnader i diameter, barrlängd och vikt mellan behandlingsalternativen (Tabell 4). Främst utmärktes alternativ F med en total vikt på 50 % mer än övriga alternativ, två mm mer i diameter och sju mm längre barr i genomsnitt än det obehandlade kontrollalternativet. Figur 13 visar skillnad i tillväxt hos fröplanta behandlad med alternativ F och obehandlad. Analysen av kvävemängder i groddplantor för SeedPADs visade signifikanta skillnader ($p=0,00$; Förklarandegrad = 52 %; Standardavvikelse = 0,47) för behandlingsalternativet F med tre gånger så högt kväveinnehåll som det obehandlade alternativet och 5,9 % upptag av det givna kvävet, mer än fem procentenheter högre än det alternativ med näst mest upptaget kväve (alternativ C) (Tabell 5). Analysen är enbart utförd på skottet varför den totala mängden upptaget kväve är okänd men troligtvis betydligt högre.

Tabell 3. Etablering av SeedPAD i fält

Table 3. Establishment of SeedPAD in the field

	A	B	C	D	E	F	Totalt
Totalt Överlevande	40	36	37	38	38	43	232
Procent Överlevnad	90	81	84	86	86	97	89

Tabell 4. Medelvärden i tillväxt för de olika behandlingsalternativen för SeedPAD i fält. Olika bokstäver visar signifikanta skillnader enligt Tukey Studentized test Pairwise comparison

Table 4. Average levels of growth for SeedPAD experiment in the field. Different letters showing significant differences according to Tukey Studentized test Pairwise comparison

Behandling	Längd (Medel mm)	Barrlängd (Medel mm)	Diameter (Medel mm)	Vikt skott (Medel g)	Vikt rot-del (Medel g)	Total vikt (Medel g)
A	33 a	21 a	0,8 a	0,03 a	0,02 a b	0,05 a
B	32 a	21 a	0,8 a	0,03 a	0,02 a	0,05 a
C	31 a	20 a	0,7 a	0,03 a	0,02 a	0,05 a
D	32 a	22 a	0,8 a	0,03 a	0,02 a b	0,05 a
E	32 a	22 a	0,8 a	0,03 a	0,02 a b	0,05 a
F	33 a	28 b	1,0 b	0,07 b	0,03 b	0,1 b
P värde	0,8	0,00	0,00	0,00	0,002	0,00
R Sq %	2,47	35	55	45	21	41
St Dev	4,2	4,2	0,08	0,018	0,01	0,02



Figur 13. Såddplanta från SeedPAD fyra månader efter sådd i fältförsöket, behandling F 20 mg N och obehandlad.
Figure 13. Seedling from SeedPAD in the field four months after sowing. Treatment F 20 mg N and untreated.

Tabell 5. Kväveanalys SeedPAD i fält. Olika bokstäver visar signifikanta skillnader enligt Tukey Studentized test Pairwise comparison

Table 5. Analysis of nitrogen levels in seedlings from SeedPAD in the field. Different letters showing significant differences according to Tukey Studentized test Pairwise comparison

Behandling	Givet N mg	Genomsnittligt (mg) innehåll i skott per planta och behandling	N Procentuellt upptag av givet N mot referens	Del N mot referens	Procentuellt N innehåll i skott
A	0	0,58	-	- a	1,9
B	30	0,62	0,13	1,07 a	2
C	20	0,75	0,85	1,29 a	2,5
D	20	0,47	-0,5	0,8 a	1,5
E	10	0,63	0,54	1,09 a	2,1
F	20	1,75	5,9	3,0 b	2,5

Av 43 inventerade ettåriga täckrotsplantor visades signifikanta skillnader i diameter, barrlängd och vikt beroende av behandlingsalternativ och oberoende av block (Tabell 6). Figur 14 visar skillnad i tillväxt mellan en gödslad täckrotsplanta och en obehandlad. I genomsnitt var barrlängden 7 mm längre, diametern 0,6 mm bredare och plantan 0,6 g tyngre för det behandlade alternativet. Analysen av kvävemängd för ettåriga täckrotsplantor visade signifikanta skillnader för de gödslade plantorna ($p=0,002$ $R^2=24$ $St\ Dev=11$) och ett procentuellt upptag av den givna kvävemängden på 28 % (Tabell 7). Andelen kväve i den gödslade plantan var i genomsnitt 1,6 gånger högre än i den ogödslade. Analysen är enbart utförd på skottet varför den totala mängden upptaget kväve är okänd men troligtvis betydligt högre.

Tabell 6. Resultat ettåriga täckrotsplantor. Olika bokstäver visar signifikanta skillnader enligt Tukey Studentized test Pairwise comparison

Table 6. Results for one year old planted seedlings. Different letters showing significant differences according to Tukey Studentized test Pairwise comparison

Behandling	Längd (Medel mm)	Barrlängd (Medel mm)	Diameter (Medel mm)	Toppskott (Medel mm)	Total vikt (Medel g)	Vikt skott (Medel g)	Vikt rottdel (Medel g)
A	129 a	30 a	3 a	76 a	2 a	1,3 a	0,7 a
B	123 a	47 b	3,6 b	86 a	2,6 b	1,6 b	1
P värde	0,47	0,00	0,003	0,26	0,003	0,015	0,003
R Sq %	2,17	40	29	5,24	20	14	20
St Dev	29	10	0,4	27	0,6	0,4	0,2



Figur 14. Ettårig täckrotsplanta fyra månader efter plantering i fältförsöket, behandling X 40 mg N och obehandlad.
Figure 14. One year old seedling four months after planting in the field experiment, treatment X 40 mg N and untreated.

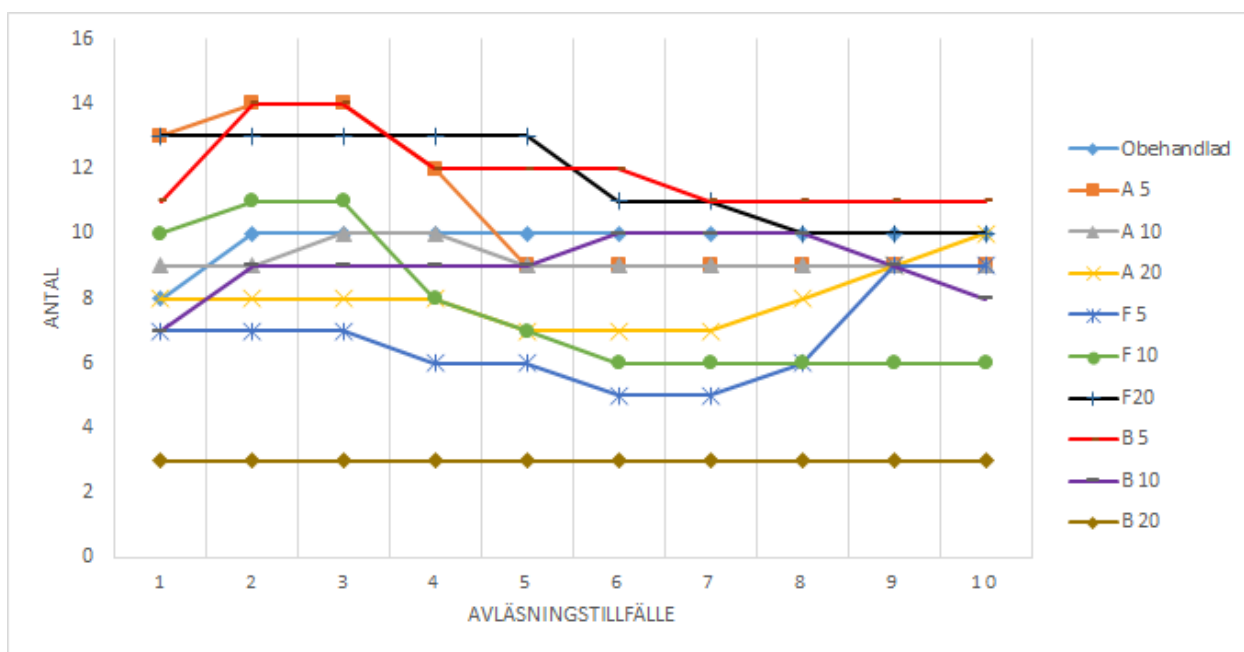
Tabell 7. Kväveanalys ettåriga plantor

Table 7. Analysis of nitrogen levels in one year old seedlings from the field experiment

Behandling	Givet N mg	Genomsnittligt N (mg) innehåll i skott per planta och behandling	Procentuellt upptag av givet N mot referens	Del N Tukey	Procentuellt N innehåll	
A	0	18,5	-	-	a	1,4
B	40	29,7	28,1	1,6	b	1,8

Växthusförsöket

Antal grodda, levande och avgångna SeedPADs i växthusförsöket följdes under de 5 månader som försöket var igång. Figur 18 visar antal levande per behandlingsalternativ över tiden och illustrerar groning och mortalitet per behandlingsalternativ. Totalt hade försöket en etableringsprocent på 57 %. Etableringen varierade dock stort mellan behandlingsalternativen, mellan 20-73 % (Tabell 8). Groningen varierade mellan 93 och 20 %. Mortaliteten av de som grodde låg som högst på 33 % (5 av 15) och lägst på 0 %. Resultatet av den statistiska analysen visade en signifikant skillnad mellan behandlingsalternativ F 20 mot de andra alternativen ($p = 0,00$, $R\text{-Sq} = 67 \%$, $St\ Dev = 0,27$) när det gällde samtliga variabler (tabell 9). F 20 hade en total vikt på 0,5 g mer än det näst tyngsta alternativet och hade i genomsnitt 5 gånger högre biomassa än det obehandlade alternativet. Figur 16 visar tillväxtskillnader mellan fröplanta behandlad med F 20 mg N och obehandlad.



Figur 15. Antal levande SeedPADs i växthusförsöket per avläsningstillfälle över 5 månader och behandlingsalternativ
 Figure 15. Living SeedPAD by treatment from the greenhouse experiment at different reading occasions over a period of five months

Tabell 8. Totalt antal levande, grodda, ej grodda samt döda av de olika behandlingsalternativen av SeedPADs i växthusförsöket vid sista avläsningstillfället

Table 8. Number of established seeds per treatment.

Behandling	Andel grodda	Andel ej grodda	Mortalitet	Andel levande av totalt sådda
Obehandlad	73	27	7	67
A 5	93	7	33	60
A 10	67	33	7	60
A 20	73	27	7	67
F 5	73	27	13	60
F 10	73	27	33	40
F 20	86	14	20	67
B 5	93	7	20	73
B 10	73	27	20	53
B 20	20	12	0	20
		Genomsnittlig	etablerings %	57



Figur 16. Såddplanta SeedPAD, fem månader efter sådd i växthusförsöket, behandling F 20 mg N och obehandlad.
 Figure 16. Seedling from SeedPAD five months after sowing in greenhouse, treatment F 20 mg N and untreated.

Tabell 9. Medelvärden, tillväxt i växthusförsöket för SeedPAD. Olika bokstäver visar signifikanta skillnader enligt Tukey Studentized test Pairwise comparison

Table 9. Average level of growth in the greenhouse experiment with SeedPAD. Different letters showing significant differences according to Tukey Studentized test Pairwise comparison

Behandling	Längd	Diameter (mm)	Barrlängd (mm)	Vikt skott (g)	Vikt rot (g)	Total vikt (g)
Obehandlad	47 b	0,7 d	20 b	0,2 d	0,1 d	0,3 d
A 5	63 b	0,8 d	26 b	0,5 b	0,2 b	0,6 b
A 10	67 b	1 b	29 b	0,4 c	0,3 a	0,8 b
A 20	59 b	0,9 c	22 b	0,4 c	0,2 b	0,6 b
F 5	47 b	0,8 d	23 b	0,2 d	0,1 d	0,4 d
F 10	67 b	1,4 a	30 a b	0,6 b	0,3 a	1 b
F 20	87 a	1,6 a	37 a	1,1 a	0,5 a	1,5 a
B 5	56 b	0,9 b	26 b	0,3 c	0,2 b	0,5 c
B 10	50 b	0,8 d	21 b	0,3 c	0,1 d	0,4 d
B 20	66 b	1 b	24 b	0,4 c	0,3 a	0,7 b
P värde	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
R Sq %	36	69	32	64	56	67
St Dev	17	0,2	8	0,2	0,1	0,27

Diskussion

Studiens syfte var att undersöka eventuella tillväxteffekter vid tillsats av extra kväve till fröplantor i SeedPAD och planterade täckrotsplantor. Resultaten visade att både fröplantor och täckrotsplantor kan öka sin tillväxt vid tillgång till extra kväve den första växtsäsongen i fält. Etablering av bestånd är en av de viktigaste men samtidigt mest kostsamma skogsskötselåtgärderna under en omloppstid. Plantetableringen är som mest känslig de tio första åren och ju större plantan blir desto bättre blir chanserna till en lyckad förnygring eftersom plantornas storlek och risken för avgång är sammankopplade. SeedPAD i fältförsöket uppnådde en dubbling i tillväxt vid tillgång till en variant av kväve och täckrotsplantorna visade att en potentiell ökning i biomassatillväxt går att uppnå med 30 procent vid kvävetillförsel. Ju starkare tillväxt i början och ju snabbare plantan etablerar sig och förankras med god diameter och rottillväxt desto bättre bör överlevnaden bli under de tio första kritiska etableringsåren.

Studien visar att kvävet form spelar stor roll för fröplantors groning och tillväxt. Behandling F hade i fältförsöket med SeedPAD i genomsnitt dubbelt så hög totalvikt som övriga alternativ och i växthuset hade F (20 mg N) fem gånger så hög totalvikt som det obehandlade alternativet. Uppbyggnaden av kväve F kan ha spelat in i dess betydelse för tillväxtökningen eftersom det kan avgöra hur lätt kvävet avges till fröet och plantan och därmed i vilken mån den kan ta upp det givna kvävet. Kväveanalysen visade att kombination F hade tagit upp 5,9 % av det tillsatta kvävet i skottet medan övriga behandlingsalternativ låg kring 0-1 %. Behandling F innehöll tre gånger mer kväve än de ogödslade substraten och två gånger mer än övriga behandlingsalternativ. Som beskrivits i inledningen bör en barrplanta innehålla som lägst mellan 1,5 och 2,2 % kväve för att undvika tillväxthämning. Behandlingsalternativ F för SeedPAD i fält innehöll 2,5 % kväve och de obehandlade innehöll i genomsnitt 1,9 %. Trots att det obehandlade alternativet innehöll så pass mycket kväve att ämnet inte skall vara en begränsande faktor, hade plantorna inte uppnått lika stor tillväxt som de i behandlingsalternativ F. Bylund gjorde i en studie från 2015 gällande att även andra ämnen som till exempel avsaknad av fosfor kan verka tillväxthämmande. Det kan peka på att även andra komponenter i kvävebehandling F spelade in i resultatet i denna studie. Erefur visade i sin avhandling (2010) att kväve inte är en tillväxtbegränsande faktor vid konkurrens om ljus. Detta bör inte vara aktuellt för plantor vid förnygring efter kalavverkning.

Enligt Grossnickle (2011) är plantornas diameter en god indikator på dess överlevnadsmöjligheter. Behandling F hade en signifikant större diametertillväxt än övriga alternativ i både fält och växthusförsöken. Diameter hänger samman med rottillväxten och behandlingsalternativen med större diameter hade även en större rottillväxt. Gödsling kan enligt tidigare studier och erfarenheter på täckrotsplantor göra att rötterna inte utvecklas i tillräckligt stor utsträckning och att träden därför riskerar att bli känsliga för torka, mer instabila och känsliga för vindskador. I denna studie var det ingen signifikant skillnad i andel rottillväxt mellan alternativen. Fröplantorna hade i växthusförsöket lika stor andel rottillväxt oavsett behandling (33 %) och i fält varierade rottillväxten mellan 40 (obehandlat) och 33 % (alternativ F). De gödslade plantorna i denna studie hade satsat 10 % mer av tillväxten på skotten i relation till den ogödslade gruppen.

Plantornas rotutveckling kan haft betydelse för tillväxten i denna studie. För täckrotsplantorna uppmättes i genomsnitt 30 procents tillväxtökning för de gödslade substraten. De var behandlade med ett kvävealternativ (kväve X) som inte gav någon tillväxtökning för SeedPAD. För att plantan

skall komma åt vissa typer av kväve kan det därför vara av betydelse med ett välutvecklat rotsystem och samspel med mykorrhiza vilket är i linje med tidigare forskning (Erefur 2010, Grossnickle 2011). Täckrotsplantor bör ha en mer utvecklad symbios med mykorrhiza än fröplantor vilket kan förklara varför inte fröplantorna visade någon signifikant skillnad i tillväxt med behandling X. För att uppnå en tillväxtökning under flera växtsäsonger är det av intresse för fortsatta studier.

Resultaten visade även att frögroning och plantbildning kan påverkas negativt om för mycket kväve tillsätts. I fält användes som mest 30 mg N, vilket gav lägst överlevnadsprocent (81 %) dock ej signifikant skiljt från övriga alternativ och det var ändå en mycket bra överlevnadsprocent. I växthusförsöket hade alternativ B med 20 mg N en etablering och groningsprocent på endast 20 %. Uppbyggnaden av kvävet kan diskuteras som en faktor till den låga groningsprocenten eftersom 20 mg N i de andra fallen i växthusförsöket inte gav en så låg groningsprocent. Alternativ B kan ha haft en kvävevariant som alltför lätt eller snabbt avgetts vilket orsakat att fröet dog.

Överlevnaden var mycket god i fältförsöket med SeedPAD och pendlade mellan 81 och 97 % (tabell 3) beroende av behandlingsalternativ. Tillgång till extra kväve hade därmed i studien ingen signifikant inverkan på etableringen av SeedPAD i fält. Identisk nivå kvävegiva, 20 mg N, av samma behandlingsalternativ (F) gav ökade tillväxteffekter för SeedPAD i både växthuset och fältförsöket. Nivåerna i växthuset valdes i hopp om att hitta en högsta nivå och där fanns tydliga skillnader i etablering beroende av behandling och kvävenivå. 20 mg N ansågs vara en maxnivå som borde visa toxisk påverkan i växthuset men det behandlingsalternativ som gav tillväxteffekt var just 20 mg N (F). Det krävdes alltså den högre dosen av kväve F (20 mg N) för att ge signifikanta skillnader eftersom de lägre nivåerna i den behandling inte gav liknande effekt.

Storskaliga försök med SeedPAD utförda av SweTree Technologies och Metla med samma SeedPAD-version som användes i denna studie har visat en något lägre överlevnad (som minst 60 %). Den högre etableringen i denna studie kan bero på att detta försök är i mindre skala eller på att ståndorten var mer lämpad för föryngring med SeedPAD.

Plantetablering är beroende av flera faktorer för att lyckas och ju större plantan blir desto bättre möjligheter har den att överleva etableringsfasen. En tillsats av kväve möjliggör en snabbare tillväxt och därmed potentiellt en högre överlevnadschans och motstånd mot skadegörare och konkurrerande växtlighet. Resultaten i denna studie visar att det finns stor potential till förbättrad tillväxt under första växtsäsongen vid både sådd med SeedPAD och täckrotsplantor. Betydelsen av tillförd näringskälla, kombination och nivå är dock stor för att effekt skall visas under första växtsäsongen.

Referenser

Anon. (1979) Skogsvårdslagen 1979:429

Albough, T.J., Allen, H.L., Dougherty, P.M., Kress, L.W., King, J.S. (1998). *Leaf area and above- and belowground growth responses of loblolly pine to nutrient and water additions*. Forest Science 44, 317-328.

Bergsten U., Goulet F., Lundmark T., Ottosson Löfvenius M. (2001). *Frost heaving in a boreal soil in relation to soil scarification and snow cover*. Canadian Journal of Forest Research, 31(6): 1084-1092

Bergsten, U., Sahlén, K. (2013). *Skogsskötselserien nr. 5, Sådd*. Andra omarbetade upplagan. Skogsstyrelsen.

Bylund, S. (2015). *Algbiomassa som gödselmedel till tall och gran*. Examensarbete Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för skogens ekologi och skötsel. 2015:8

Cregg, B., (2005). *Conifer Nutrition. Conifer corner*. The Michigan Landscape.

Ellström M. (2014). *Effects of nitrogen deposition on the growth, metabolism and activity of ectomycorrhizal fungi*. Department of Biology, Lund Universitet

Erefur, C. (2010). *Regeneration in continuous cover forestry systems*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2010:42

Grossnickle, S. (2011). *Why seedlings survive: influence on plant attributes*. New Forests , 2012, 43:711–738.

Goulet, F (1995). *Frost heaving on forest tree seedlings: a review*. New Forests, 1995, Vol.9(1), pp.67-94 [Peer Reviewed Journal]

Hallsby, G. (2013). *Skogsskötselserien nr. 2, Plantering av barrträd*. Andra omarbetade upplagan. Skogsstyrelsen.

Hawkins B. J., (2011). *Seedling mineral nutrition, the root of the matter*. Rocky Mountain Research Station: 87-97. USDA Forest Service Proceedings.

Härjegård, M. (2008). *Föryngringsresultat efter en vegetationsperiod med plantering, sådd och såddbrikett för svensk tall (Pinus Sylvestris L.) och contortatall (P. contorta)*. SLU, inst. för skogens ekologi och skötsel. Examensarbeten nr 2008:21.

Johnsen, K., Maier, C., Kress, L. (2005). *Quantifying root lateral distribution and turnover using pine trees with a distinct stable carbon isotope signature*. Functional Ecology 19 s 81-87.

Lundström, P. (2015). *Potential för utökad sådd inom Holmen Skog*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.

Näsholm T., Högberg P., Franklin O., Metcalfe D., Keel SG., Campbell C., Hurry V., Linder S., Högberg MN. (2013) *Are ectomycorrhizal fungi alleviating or aggravating nitrogen limitation of tree growth in boreal forests?* New Phytologist

Oleskog, G. (1999). *The effects on seed bed substratet on moisture conditions: germination and seedling survival of Scots pine*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 99

Rosvall, O., Simonsen, R., Rytter, L., Jacobsson, S. (2007). *Tillväxthöjande skogsskötselåtgärder i privatskogsbruket – Underlag för lönsamhetsberäkningar*. Arbetsrapport från Skogforsk nr 640.

Rosvall O., Andersson B., Högberg K-A., Stener L-G., Jansson G., Almqvist C., Westin J. (2010). *Skogsskötselserien nr. 19, Skogsträdsförädling*. Skogsstyrelsen.

Ståhl, P-H., Bergh, J. (2013). *Skogsskötselserien nr 16, Produktionshöjande åtgärder*. Skogsstyrelsen.

Wennström U., Johansson K., Lindström A., Stattin E. (2008). *Skogsskötselserien nr. 2, Produktion av frö och plantor*. Skogsstyrelsen.

Wennström, U., Bergsten, U. och Nilsson, J.-E. (2007). *Seedling establishment and growth after direct seeding with Pinus sylvestris: effects of seed type, seed origin, and seeding year*. Silva Fennica 41(2), s 299–314.

Wennström, U. (2001) *Direct seeding of Pinus sylvestris (L.) in the boreal forest using orchard or stand seed. Doctoral thesis*. Swedish University of Agricultural Sciences. Silvestria 204. Umeå.

Wennström, U. (2010). *Såddpucken snart i mål*. Skogforsk. Plantaktuellt nr 2–2010.

Winsa, H. (1995). *Effects of seed properties and environment on seedling emergence and early establishment of Pinus sylvestris (L.) after direct seeding*. SLU, inst för skogsskötsel. Doktorsavhandling.

Muntliga källor

Öhlund, J. Projektledare, SweTree Technologies AB, 2015-05-30

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2015:6 Författare: Sara Waern
Återskapande av biodiversitet i degraderad sekundär regnskog i Sabah, Malaysia – naturlig föryngring av träd efter restaureringsåtgärder
- 2015:7 Författare: Sandra Laestander
”Den kemiska bekämpningen av skadlig lövskog har öppnat helt nya vyer för skogsbruket” – Flygbesprutning med herbicider i Arjeplog 1953-1978
- 2015:8 Författare: Simon Bylund
Algbiomassa som gödselmedel till gran och tall
- 2015:9 Författare: Anton Wikman
Ekarna på Tullgarn – En studie om ekförekomstens utveckling och framtid
- 2015:10 Författare: Joakim Jansson
Rehabilitation in a tropical secondary rain forest in Malaysian Borneo – Early effects of canopy properties on light conditions at the forest floor
- 2015:11 Författare: Adam Klingberg
Tillväxt, överlevnad och skador för provenienser av Banksianatall (*Pinus banksiana*, Lamb.) i norra Sverige
- 2015:12 Författare: Rasmus Häggqvist
Skötselplan för Gammlia skogen
- 2015:13 Författare: Elisabet Ekblad
Förutsättningar för naturhänsyn i bestånd med contortatall (*Pinus contorta*)
- 2015:14 Författare: Jon Wikström
Utvärdering av förmågan hos Wet Area Mapping (WAM) att beskriva markbärigheten på skogsmark intill vattendrag
- 2015:15 Författare: Jenny Tjernlund
Grundvattenkemin tre år efter askgödsling på djupa torvmarker i Norrland
- 2015:16 Författare: Anton Hammarström
Utveckling av en modell för bärighetsklassificering av skogsmark
- 2016:1 Författare: Gustaf Dal
Tree cover and tree traits affects soil carbon and soil compaction in Parklands in Central Burkina Faso
- 2016:2 Författare: Julia Mellåker
Degradation and restoration method interact to affect the performance of planted seedlings in tropical rainforest restoration – evidence from plant functional traits
- 2016:3 Författare: Pia Sundvall
Kväverikt spillvatten från sprängämnesproduktion – potentiell råvara i gödsel?
- 2016:4 Författare: Marcus Larsson
Betydelsen av krukstorlek, odlingstäthet och planteringspunkt vid etablering och tillväxt hos täckrotsplantor – Analys av Jackpot & Powerpot

Hela förteckningen på utgivna nummer hittar du på www.seksko.slu.se